

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO
PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

JUAN DAVID PARRA QUINTERO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA

2020

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO
PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

JUAN DAVID PARRA QUINTERO

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

AGRADECIMIENTOS

A la empresa VARISUR S.A.S. que me ha permitido realizar este proyecto con su total apoyo desde el primer día que llegué. Quien se ha convertido en facilitadora de la información técnica y manual de sus equipos de workover, base de datos; no dejando atrás esa gran experiencia y sabiduría de todo su personal.

Al departamento de recursos humanos, a los ingenieros Miller Roa, Jefe de Mantenimiento y José Luis Tristancho, Coordinador Grupo de Investigación en Materiales Avanzados GIMAV de la Universidad Tecnológica de Pereira, gracias por su apoyo y dirección en este proceso de aprendizaje.

A mi familia por su comprensión y paciencia y...

A mi abuelito Arturo, quien nos dejó hace dos años... que lo extraño mucho.

Orientador

Ing. José Miller Roa Acuña

Director proyecto

Ing. José Luis Tristancho Reyes

Pereira, 10 de Agosto de 2020

RESUMEN

Se cumple la revisión y actualización de los procedimientos de mantenimiento al equipo acumulador de presiones cumpliendo satisfactoriamente los objetivos propuestos. Los procedimientos se basaron detalladamente bajo todos los protocolos y estándares propuestos por las normas API (Instituto Americano del Petróleo). Dentro de las normas se hace referencia especialmente a la API SPEC 16 D y STD 53.

Cada día es el tiquete directo al aprendizaje, el hecho de conocer el funcionamiento de los equipos es crucial para el proceso de práctica. Tener alrededor personas capacitadas y con gran experiencia fue muy importante en el proceso de aprendizaje porque se conecta tanto teoría como la práctica impulsando la creatividad.

El acumulador de presiones es una unidad que permite almacenar energía en forma de presión accionando las preventoras para garantizar la seguridad y control de un pozo dentro del campo petrolero. Detrás de todo lo anterior está en juego la vida de las personas razón por la cual en este proyecto se hizo énfasis en cómo se estaba haciendo el mantenimiento y como se puede mejorar con el fin de dejar un equipo totalmente operativo y seguro. El uso de técnicas predictivas garantiza un buen mantenimiento lo que conlleva a una inversión muy alta pero que a largo plazo todos esos costos se retribuyen en menores pérdidas de dinero por paradas no programadas y fallas por averías.

Palabras Clave: Acumulador de presiones, Instituto Americano del Petróleo, Preventoras, Control de pozo

CONTENIDO

ACUMULADOR DE PRESIONES	1
MARCO TEÓRICO.....	1
SISTEMA ACUMULADOR.....	1
CÁLCULO DE CAPACIDAD	4
DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO.....	8
BOMBA TRIPLEX	10
CARGA DE LAS BOTELLAS	12
MANÓMETROS	13
VÁLVULAS.....	14
VÁLVULA DE CUATRO VÍAS	14
VÁLVULA DE SEGURIDAD O ALIVIO	15
VÁLVULA BY PASS	16
VÁLVULA CHECK O RETENCIÓN	16
VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN.....	17
VÁLVULA DE DESCARGA	18
LINEAS DE CONTROL METÁLICAS	18
PANEL DE CONTROL REMOTO.....	19
TIEMPO DE RESPUESTA	19
SISTEMA DE ALARMA.....	20
SISTEMA NEUMÁTICO	21
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	23
MANTENIMIENTO E INSPECCION.....	25
PLAN DE MANTENIMIENTO.....	25
DIAGRAMA CAUSA - EFECTO	29
AMEF	30
TECNICAS PREDICTIVAS	32
PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	37
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	38
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS.....	43

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Botellas acumuladoras con capacidad de 10 galones cada una.	1
Imagen 2. Depósito de Almacenamiento.	8
Imagen 3. Nivel de fluido.	8
Imagen 4. Rando HD 68.	8
Imagen 5. Tapones de 4 pulgadas para el depósito.	9
Imagen 6. Compartimiento dentro del depósito.	9
Imagen 7. Filtro en Y (strainer) en la línea de succión de la bomba tríplex.	10
Imagen 8. Bomba Tríplex Gardner Denver (15 HP), motor eléctrico y sistema de transmisión. ...	10
Imagen 9. Sistema de transmisión.	11
Imagen 10. Kit de precarga de botellas.	12
Imagen 11. Adaptador FPS.	13
Imagen 12. Almacenamiento de N ₂	13
Imagen 13. Manómetros de presión.	13
Imagen 14. Manómetro en cada manifold de distribución o “flauta”.	14
Imagen 15. Válvula de cuatro vías.	14
Imagen 16. Válvula de cuatro vías para Blind Rams con su respectiva cubierta protectora, según API 16D.	15
Imagen 17. Válvula de seguridad.	15
Imagen 18. Válvula Bypass.	16
Imagen 19. Válvula check situada en la línea de descarga de la bomba triplex.	16
Imagen 20. Válvula check situada en la línea de descarga de la bomba neumática.	17
Imagen 21. Válvula reguladora de presión.	17
Imagen 22. Válvula de descarga al depósito.	18
Imagen 23. Líneas de control metálicas retardadoras de llama.	18
Imagen 24. Panel de control.	19
Imagen 25. Interruptor de presión hidroneumático.	21
Imagen 26. Interruptor de presión hidroeléctrico.	21
Imagen 27. Tanque de aire de 200 galones de capacidad. P _{max} @ T=400 °F=200 psi.	21
Imagen 28. Bomba neumática	22
Imagen 29. Filtro de aire, regulador y lubricador.	22
Imagen 30. Compresor de aire tipo tornillo rotativo. Flujo volumétrico de 85 cfm.	22
Imagen 31. Actuador neumático de doble efecto.	23

Imagen 32. Generador eléctrico. transferencia manual y distribución a 440V de 260 KVA.....	Imagen 33. Tablero de	23
Imagen 34.Plug de toma de voltaje 220 V.....		24
Imagen 35. Switch de encendido manual o automático.....		24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Procedimientos.....	6
Tabla 2. Volumen por botella.	6
Tabla 3. Volumen utilizable.....	7
Tabla 4. Tiempo de respuesta cierre de preventoras.....	20
Tabla 5. Distribución por método AMEF.....	31
Tabla 6. Prueba inicial acumulador.	40
Tabla 7. Prueba de final acumulador.	42

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de unidad acumuladora.	8
Ilustración 2. Carga de botellas.....	12
Ilustración 3. Flujograma.	27
Ilustración 4. Detector de ultrasonido con audifonos. Ilustración 5.Detector de ultrasonido con display.	33
Ilustración 6. Ejemplo elemento analizados termográficamente.	35
Ilustración 7. Cámara Termografica.	37
Ilustración 8. Cámara Termográfica Fluke.	38
Ilustración 9. Medidor de vibraciones Fluke 805FC.	38

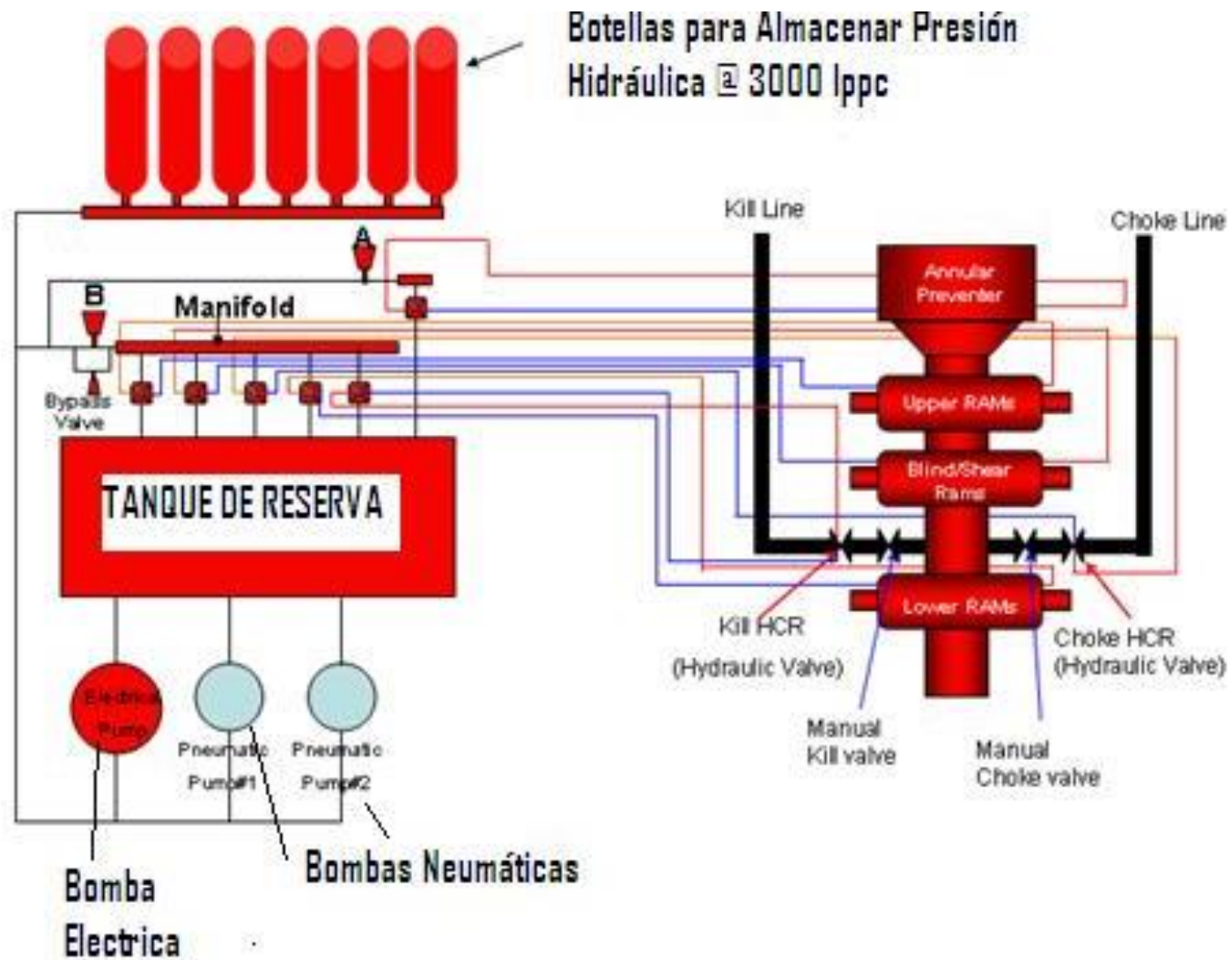


Ilustración 1. Esquema de unidad acumuladora.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

ACUMULADOR DE PRESIONES MARCO TEÓRICO

Un acumulador es simplemente un recipiente a presión diseñado para aguantar la presión máxima del sistema acumulando energía que podemos utilizar en un momento determinado. Su requisito funcional es proporcionar suficiente volumen y presión de fluido hidráulico utilizable para accionar el equipo de control de pozo especificado, y proporcionar suficiente presión restante para mantener la capacidad de sellado. Este volumen de aceite extra lo conseguimos comprimiendo un gas introducido en el acumulador.

Interiormente, el acumulador lleva una parte llena del fluido hidráulico conectada al circuito y otra parte llena con el gas a comprimir, generalmente nitrógeno. Ambas partes necesitan estar separadas por un medio elástico, una membrana o una vejiga. Cuando la presión del circuito supera la presión del nitrógeno, el aceite comienza a acumularse comprimiendo el gas, si la presión del circuito disminuye, el volumen de aceite acumulado en el recipiente es devuelto al mismo gracias a la expansión del nitrógeno.

Las funciones del acumulador son principalmente:

- Almacenamiento de energía.
- Absorber o amortiguar pulsaciones de presión.
- Mantener la presión.

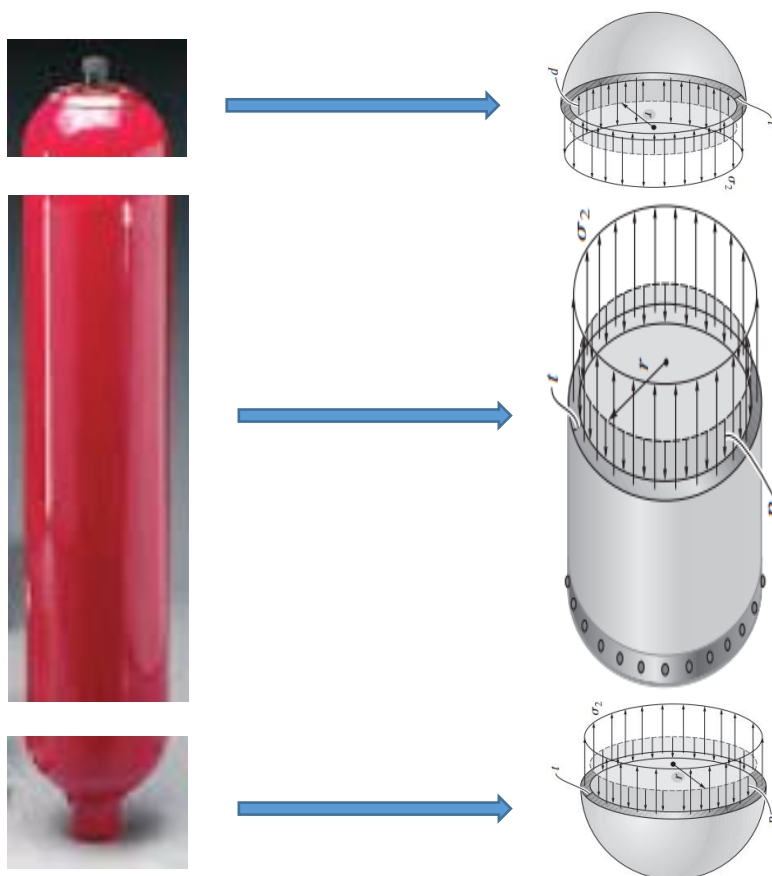
SISTEMA ACUMULADOR



Imagen 1. Botellas acumuladoras con capacidad de 10 galones cada una.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

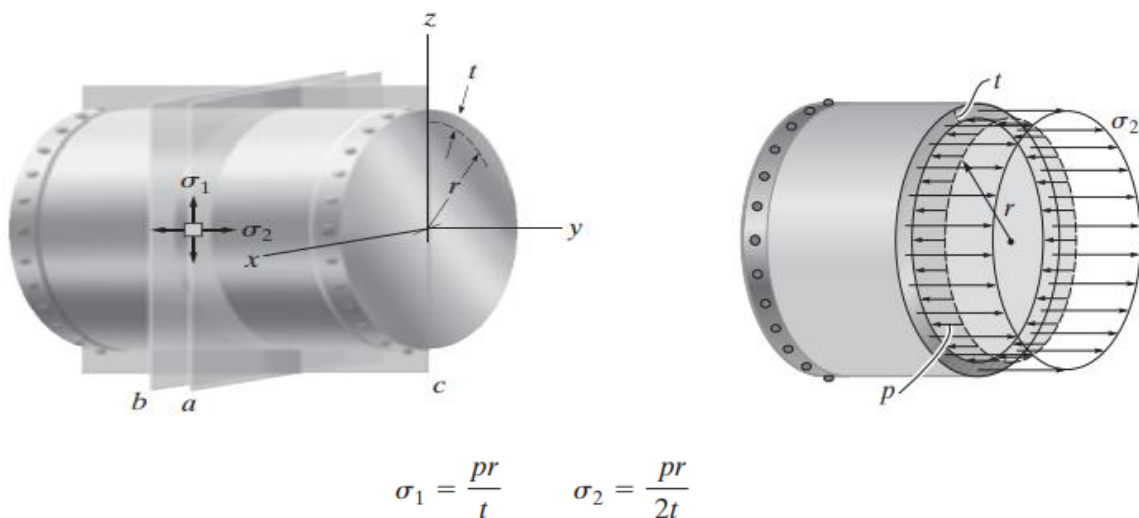
Cada una de estas botellas posee un diafragma flexible y resistente que separa el gas del fluido hidráulico. Por otro lado, físicamente, cada botella se podría subdividir en un cilindro y una semiesfera en los extremos tanto superior como inferior donde el valor de sus esfuerzos se puede obtener de la siguiente manera:



Cilindro

Considerando que el recipiente cilíndrico de la figura tiene un grosor de pared t , un radio interior r y está sometido a una presión manométrica p que se genera en el recipiente por el gas que contiene el valor del esfuerzo esta determinado por:

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

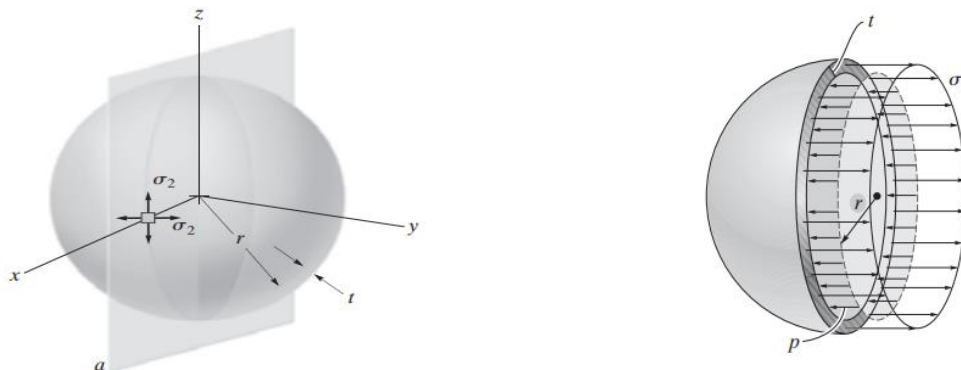


Donde, σ_1 =Esfuerzo circunferencial o anular y σ_2 =Esfuerzo longitudinal o axial.

Tenga en cuenta que el esfuerzo anular o circunferencial es **dos veces mayor** que el esfuerzo longitudinal o axial. En consecuencia, cuando se fabrican recipientes cilíndricos a presión a partir de placas laminadas, las juntas longitudinales deben estar diseñadas para soportar el doble del esfuerzo que las juntas circunferenciales.

Esfera

Un recipiente esférico a presión puede analizarse de una manera similar.



$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pr}{2t}$$

Por lo que por ejemplo:

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

Para un mismo valor máximo de esfuerzo el recipiente esférico a presión es capaz de soportar el doble de la presión interna que un recipiente cilíndrico (HIBBELER, 2011, pág. 407).

CÁLCULO DE CAPACIDAD *FLUIDO HIDRÁULICO UTILIZABLE*

$$p_1 * v_1 = p_2 * v_2^1$$

Donde el subíndice numérico representa:

- Condición 0, procedimiento de precarga².

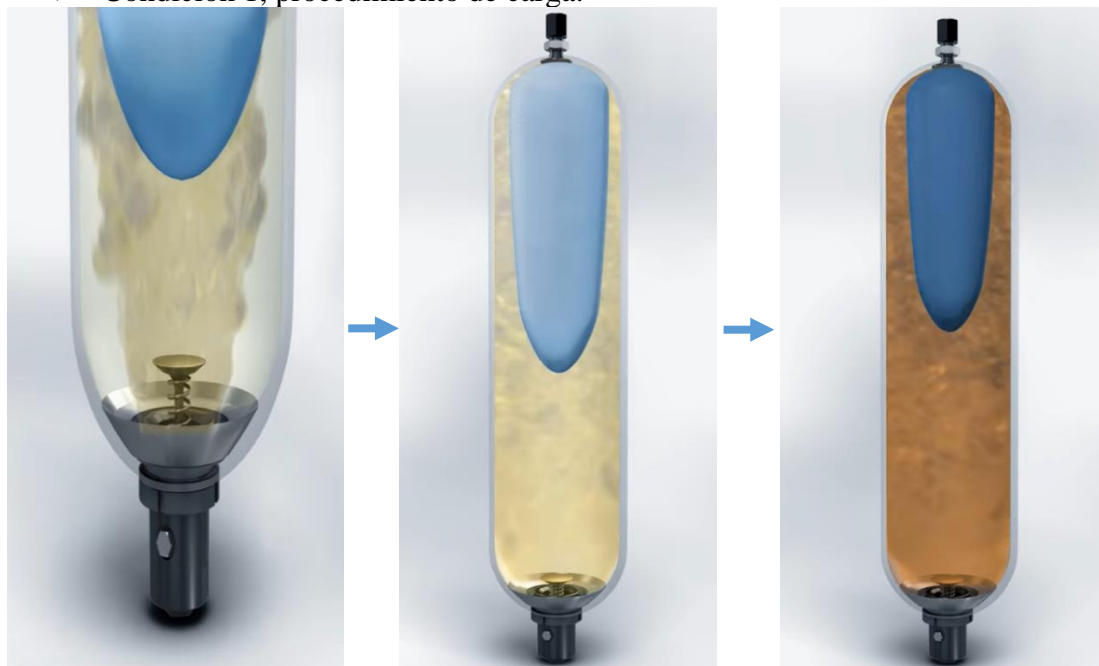


¹ $p*v=\text{constante}$ ya que al usar un gas ideal en la precarga por ecuación de gases ideales según la Ley de Boyle el término $p_0 * v_0 = n * R * T_0$ y el término $p_1 * v_1 = n * R * T_1$ se puede simplificar a $p_0 * v_0 = p_1 * v_1 = p_2 * v_2 = p_3 * v_3$ debido a que $n*R$ idealmente es constante bajo las cuatro condiciones suponiendo que lo anterior es un proceso adiabático. Dónde: n = Número de moles, R = Constante de los gases ideales.

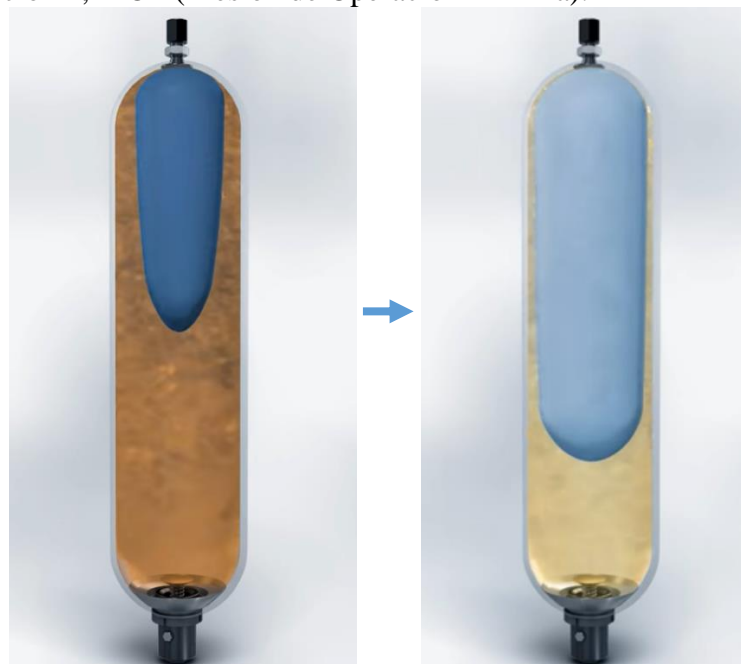
² Una precarga inicial de gas inerte (Nitrógeno), que se comprime aún más cuando el fluido hidráulico se bombea al acumulador, almacenando así la energía potencial.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

➤ Condición 1, procedimiento de carga.

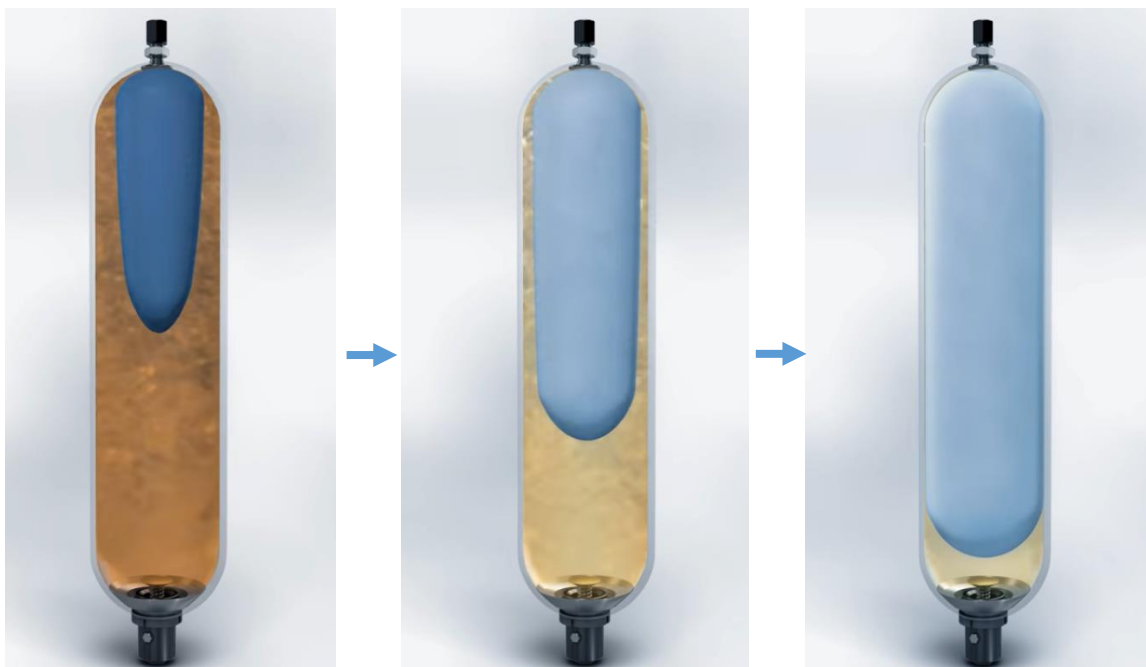


➤ Condición 2, MOP (Presión de Operación Mínima).



REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

➤ Condición 3, procedimiento de descarga total.



El volumen de fluido utilizable se obtiene de acuerdo al valor de las presiones, volumen y cantidad de las botellas del acumulador³. La tabla siguiente es de carácter ilustrativo por lo tanto hace referencia a un ejemplo sencillo para calcular el volumen de fluido que pueda contener cada botella y no determina que sea el procedimiento que se deba realizar. Ver Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 1. Procedimientos

0	Presion de precarga [Psi]	1000
1	Presion de carga [Psi]	3100
2	MOP [Psi]	2800
3	Presion de descarga [Psi]	1000
	Capacidad de cada botella [Gal]	10
	Numero de botellas	8

Tabla 2. Volumen por botella.

*Volumen por cada botella							
Volumen del bladder [Gal]				Volumen acumulado de fluido hidráulico por botella [Gal]			
V₀	V₁	V₂	V₃	VF₀	VF₁	VF₂	VF₃
10	3,23	3,57	10	0	6,77	6,43	0

³ El volumen de cada botella debe ser conocido por el personal que va a realizar el mantenimiento.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

Tabla 3. Volumen utilizable.

Volumen total utilizable [Gal]	2,76
---	-------------

Nota: Las tablas fueron realizadas a través de Excel.

Según API 16D:

- **5.1.3.2** El sistema acumulador se diseñará de manera tal que la pérdida de un acumulador individual y / o banco no resulte en una pérdida de más del 25% de la capacidad total del sistema acumulador.
- **5.1.3.4** Se deben proporcionar válvulas de aislamiento de presión de suministro y válvulas de purga en cada banco de acumuladores para facilitar la verificación de la presión de precarga o drenar los acumuladores de regreso al depósito de fluido de control.
- **5.1.3.6** La presión de precarga en los acumuladores del sistema sirve para impulsar el fluido hidráulico almacenado en los acumuladores para el funcionamiento de las funciones del sistema. La cantidad de presión de precarga es una variable que depende de los requisitos operativos específicos del equipo a operar y del entorno operativo.
- **9.2.3.1** Los acumuladores deben especificarse con una presión de trabajo nominal tal que la certificación ASME (o código de recipiente de presión equivalente) dé como resultado un valor mínimo de presión de prueba hidrostática de una y media (**1.5**) veces la presión de trabajo nominal del sistema. La certificación de la prueba hidrostática atestiguada por el inspector apropiado (de acuerdo con los requisitos del código del recipiente a presión) debe ser evidente por el sello de inspección del código apropiado permanentemente fijado a cada carcasa del acumulador. Los depósitos del acumulador incluirán un número de serie fijo de forma permanente. El fabricante del sistema de control mantendrá informes escritos de prueba que certifiquen la aceptación de la prueba de la carcasa del acumulador para cada unidad numerada en serie. Se debe mantener la trazabilidad hasta el fabricante original de la carcasa del acumulador.

Según norma API STD 53:

- Los acumuladores tipo vejiga y flotador se deben montar en posición vertical.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO



Imagen 2. Depósito de Almacenamiento.



Imagen 3. Nivel de fluido.

El depósito internamente posee una serie de compartimientos evitando que el fluido golpee bruscamente las paredes del recipiente en el momento en que es transportado al lugar donde se va a operar. Ver Imagen 6.



Fluido hidráulico a usar: *Rando HD 68* es un aceite hidráulico que permite larga vida del equipo, efectivo sistema inhibidor de herrumbre y corrosión. Sus propiedades anti espuma aseguran una operación suave y eficiente del sistema con una gran protección antidesgaste soportando altas temperaturas y presiones. Ver Imagen 4. *Nota:* Evite echar esta sustancia en los sistemas de desagüe ni tampoco lo use en sistema de alta presión cerca a llamas, chispas o superficies calientes.

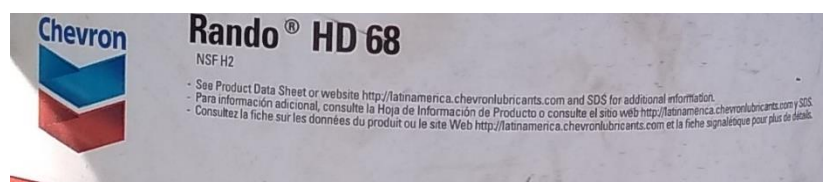


Imagen 4. Rando HD 68.

Por su diseño de fabricación rectangular, el depósito con dos tapones de 4 pulgadas (in) en cada extremo, que al quitarlos permite observar el interior cuando se inspeccionan las descargas de las válvulas. Ver Imagen 5. Por la parte inferior del depósito, salen en forma independiente las líneas

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

de succión para las bombas hidroneumáticas y la bomba hidroeléctrica. Al tanque de almacenamiento descargan las líneas de las válvulas de seguridad, en caso de presentarse un incremento de presión dentro del sistema.

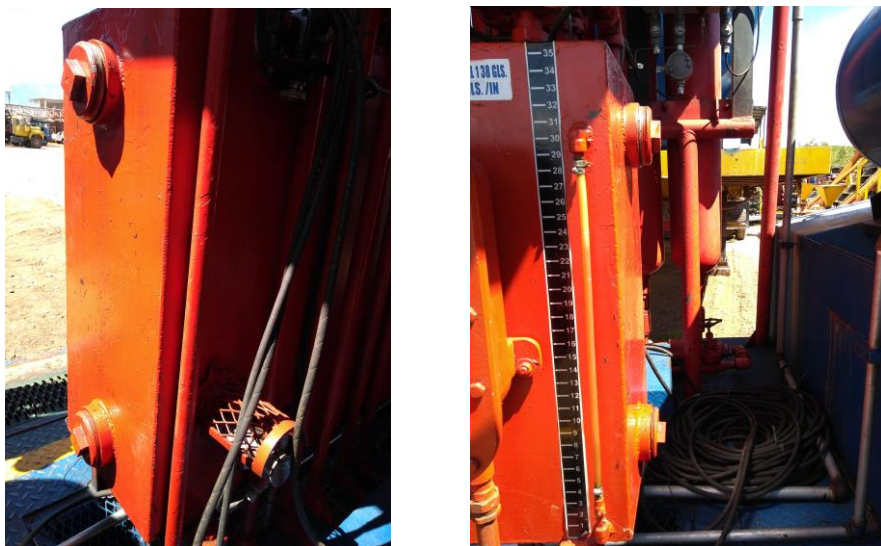


Imagen 5. Tapones de 4 pulgadas para el depósito.



Imagen 6. Compartimiento dentro del depósito.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

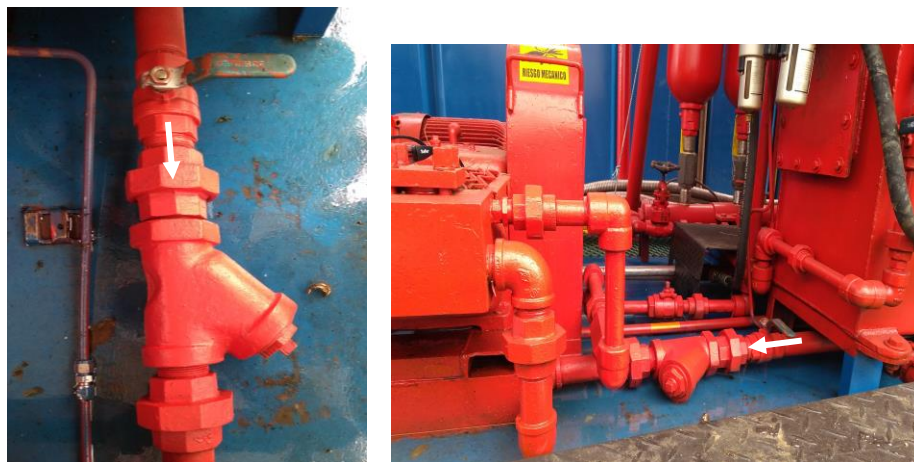


Imagen 7. Filtro en Y (strainer) en la línea de succión de la bomba triplex

Según API 16D:

- El depósito del líquido debe tener rejillas de ventilación de suficiente tamaño instaladas para evitar la presurización del tanque durante la transferencia de fluidos.
- El depósito de fluido hidráulico será de al menos el doble de la capacidad de fluido útil del sistema acumulador (API Spec 16D, July 2004 sección 2.3.1.2 and 2.2.1.3)

BOMBA TRIPLEX

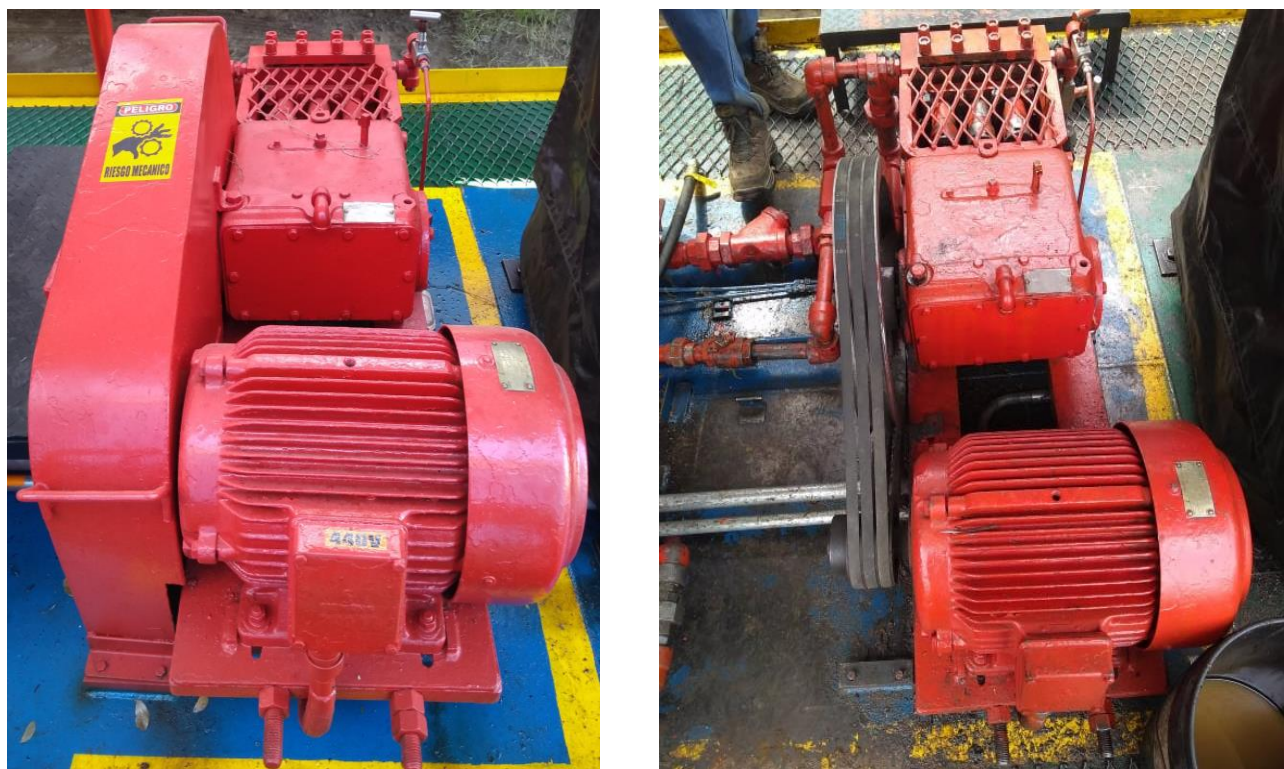


Imagen 8. Bomba Triplex Gardner Denver (15 HP), motor eléctrico y sistema de transmisión.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

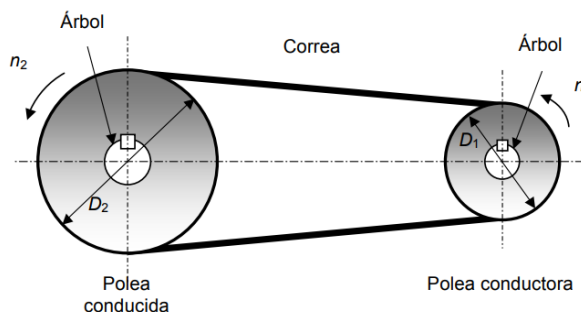


Imagen 9. Sistema de transmisión.

En este caso en particular la relación de transmisión para el sistema motor – bomba es en reducción lo que permite obtener la rpm de salida (n_2) menor a la de entrada permitiendo que el par torsor hacia el cigüeñal que se encuentra en la bomba sea mucho mayor.

Según API 16D:

- **5.1.2.2** Cada sistema de bomba proporcionará una presión de descarga al menos equivalente a la presión de trabajo nominal del sistema⁴. Los sistemas de bomba accionados por aire deben ser capaces de cargar acumuladores a la presión de trabajo nominal del sistema con un suministro de aire de 120 psi para accionar la bomba.
- **5.1.2.3** Cada sistema de bomba debe estar protegido contra la sobrepresurización por un mínimo de dos (2) dispositivos diseñados para limitar la presión de descarga de la bomba
 - a. Un dispositivo debe garantizar que la presión de descarga de la bomba no exceda la presión de trabajo nominal del sistema. Ver Imagen 25.
 - b. El segundo dispositivo, normalmente una válvula de alivio, debe configurarse para aliviar a no más del 10% por encima de la presión de trabajo nominal del sistema. La (s) válvula (s) de alivio y la tubería de ventilación deben acomodar la capacidad máxima de bombeo a no más del 133% de la presión de trabajo nominal del sistema. La verificación se proporcionará por cálculo de diseño o prueba. Ver Imagen 17.
- **5.1.2.4** Las bombas primarias comenzarán automáticamente cuando la presión de trabajo real del sistema haya disminuido a aproximadamente el **90%** de la presión de trabajo nominal del sistema, y se detendrán automáticamente entre el **97% - 100%** de la presión de trabajo nominal del sistema. Las bombas secundarias deben proporcionar una operación similar a las bombas primarias, excepto que el punto de ajuste para arrancar la bomba puede ajustarse ligeramente más bajo para que ambos sistemas de bomba no arranquen simultáneamente. El control de la bomba secundaria no debe detener la bomba a menos del **95%** de la presión de trabajo nominal del sistema y debe arrancar la bomba automáticamente antes de que la presión disminuya por debajo del **85%** de la presión de trabajo nominal del sistema.
- Se requerirá un mínimo de dos sistemas de bombeo; Un sistema de bombeo puede consistir en una o más bombas. Los dos sistemas de bombeo requeridos deben tener fuentes de

⁴ La presión nominal del sistema de acuerdo a la norma API 16D es de 3000 psig @ Tamb (3014,69 psia).

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

energía independientes. Nota: Los sistemas de bomba adicionales no requieren fuentes de energía independientes. (API STD 53, 2018, pág. 16)

CARGA DE LAS BOTELLAS

Los acumuladores deben precargarse con nitrógeno⁵. No se utilizará aire comprimido ni oxígeno para precargar los acumuladores (API STANDARD 53, 2018, pág. 16). Ver Ilustración 2.

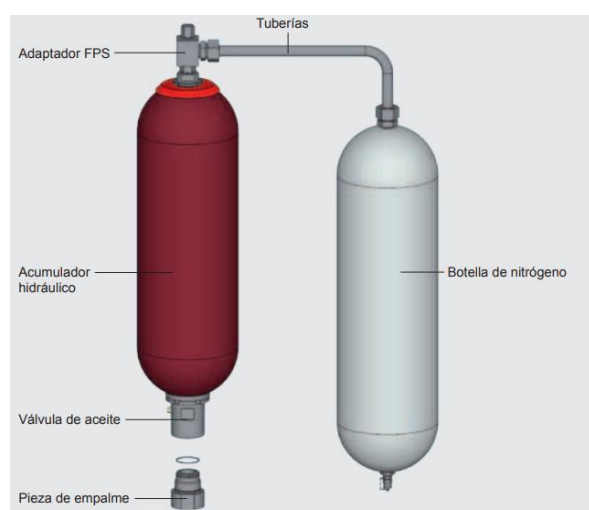


Ilustración 2. Carga de botellas.

Para el proceso de precarga se sugiere hacer uso del siguiente kit proporcionado por la empresa:

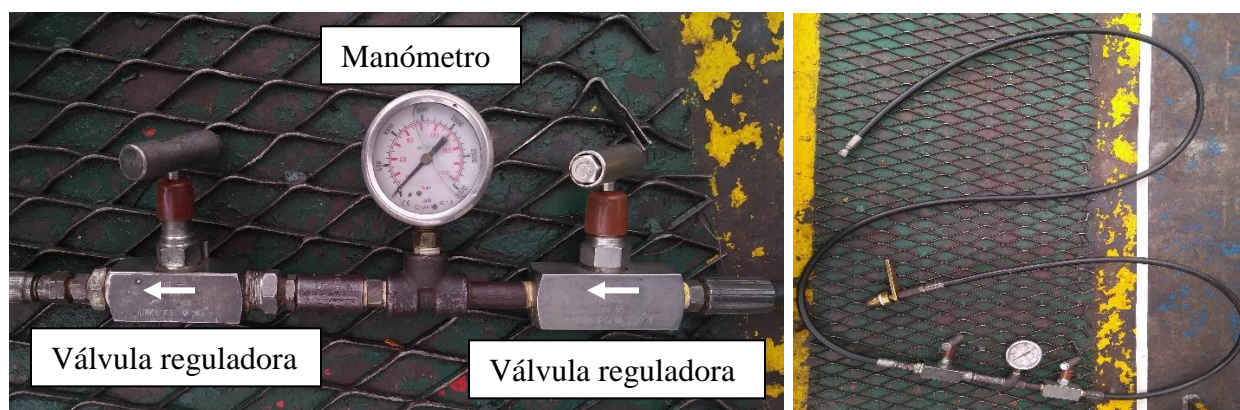


Imagen 10. Kit de precarga de botellas.

⁵ Se utiliza Nitrógeno (N₂) ya que además de ser un gas inerte, incoloro, inodoro y comprimible; reduce la cantidad de vapor de agua presente en el diafragma asimismo el riesgo de explosión e incendio.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER



Imagen 11. Adaptador FPS.



Imagen 12. Almacenamiento de N_2 ⁶.

MANÓMETROS



Imagen 13. Manómetros de presión.

⁶ Es indispensable marcar la botella de nitrógeno con la fecha de su último uso y valor de presión que queda disponible.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER



Imagen 14. Manómetro en cada manifold de distribución o “flauta”.

VÁLVULAS

VÁLVULA DE CUATRO VÍAS

Se deben instalar cubiertas protectoras u otros medios que no interfieran con la operación remota de los Blind Rams (arietes ciegos) y otras válvulas de control de función crítica. Ver Imagen 15 e Imagen 16. Se requiere levantar estas cubiertas o acciones secuenciales deliberadas para permitir la operación de la función local.



Imagen 15. Válvula de cuatro vías.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER



Imagen 16. Válvula de cuatro vías para Blind Rams con su respectiva cubierta protectora, según API 16D.

VÁLVULA DE SEGURIDAD O ALIVIO



Imagen 17. Válvula de seguridad.

Las válvulas de alivio son indispensables en el circuito⁷, deberá proporcionarse un certificado de la configuración y operación de la válvula de alivio que indique el punto de ajuste y la presión a la que se vuelve a colocar la válvula de alivio. Las válvulas de alivio deben volver a asentarse dentro del veinticinco por ciento de la presión establecida.

Las válvulas de alivio se someterán adicionalmente a pruebas de tipo para determinar el caudal máximo a través de la válvula de alivio sin exceder el **115%** de la presión de ajuste de la válvula de alivio.

⁷ Las válvulas de alivio limitan el nivel de presión máxima a la cual se le permite al circuito elevarse protegiendo eficazmente la sobrepresión accidental.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

VÁLVULA BY PASS



Imagen 18. Válvula Bypass.

VÁLVULA CHECK O RETENCIÓN

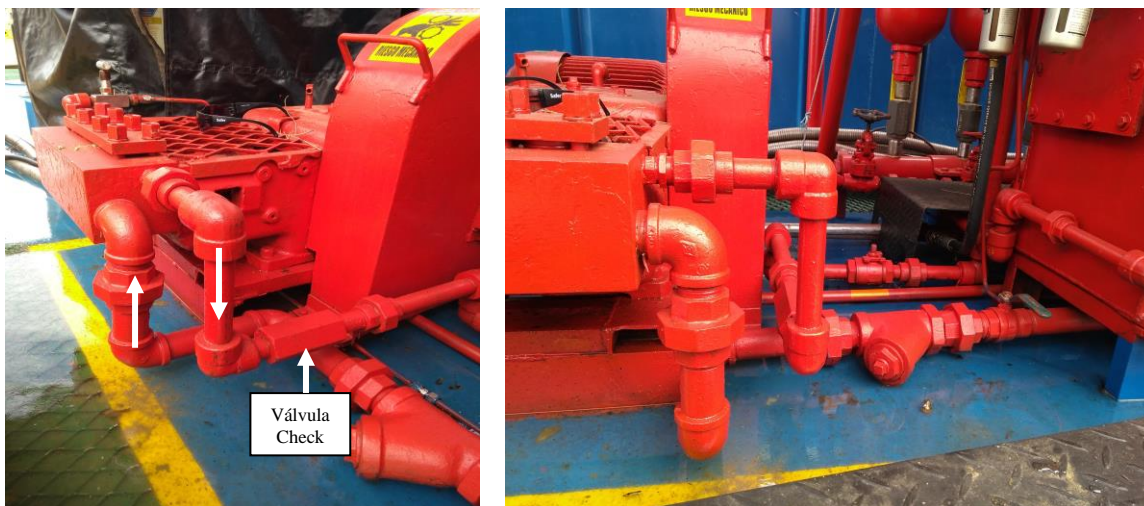


Imagen 19. Válvula check situada en la línea de descarga de la bomba triplex..

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

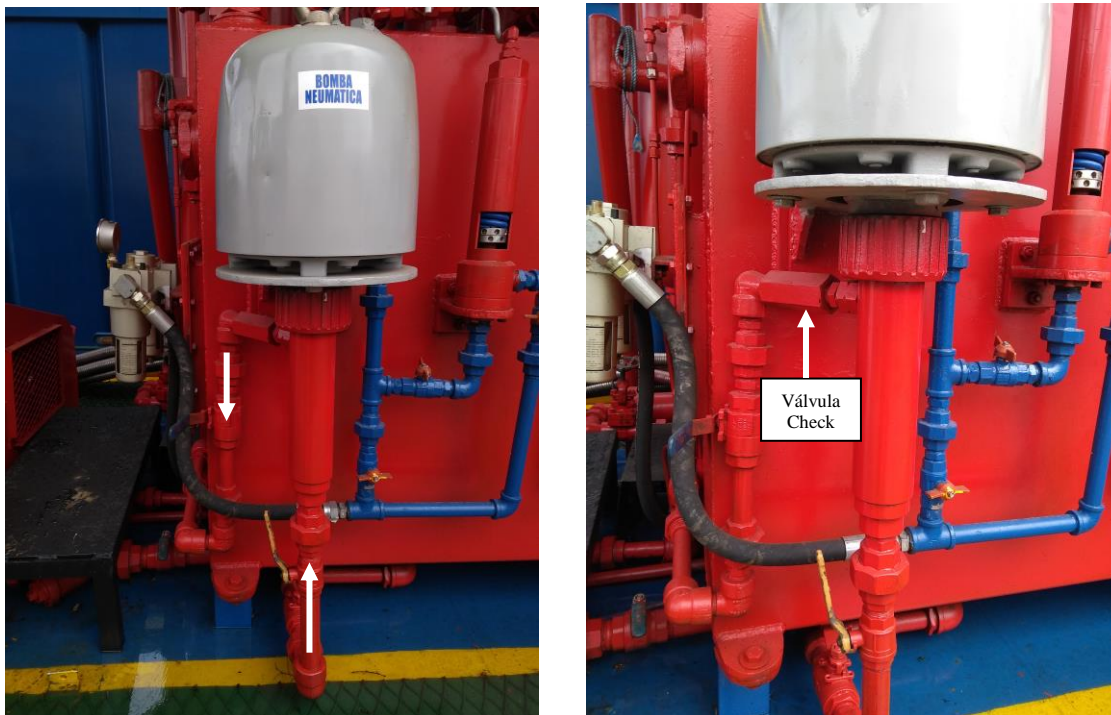


Imagen 20. Válvula check situada en la línea de descarga de la bomba neumática.

VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN



Imagen 21. Válvula reguladora de presión.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

VÁLVULA DE DESCARGA

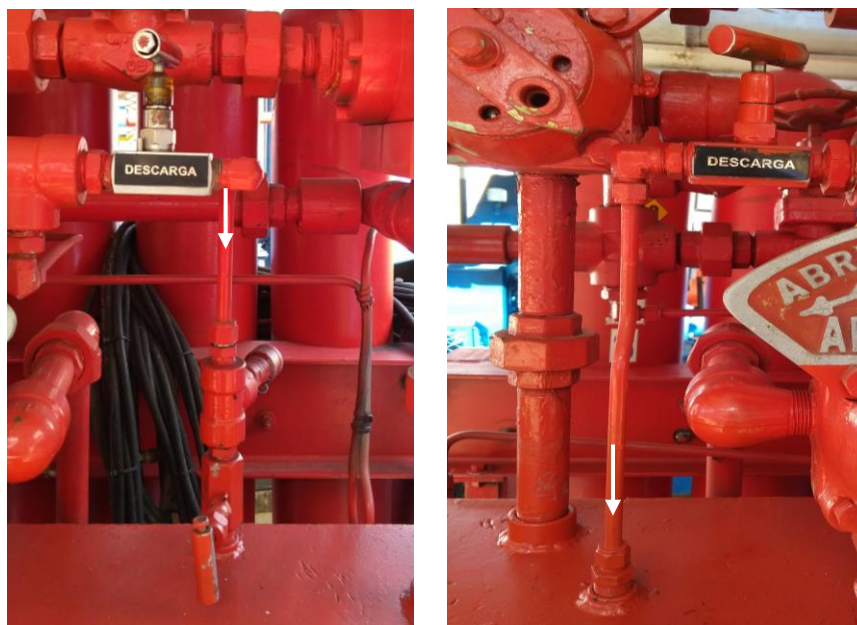


Imagen 22. Válvula de descarga al depósito.

LINEAS DE CONTROL METÁLICAS

Según API 16D:

4.3.1.2.2: Líneas de control metálicas (retardadoras de llama). Las líneas de control del acumulador al sistema de preventoras deberán ser fabricadas en material no combustible. Ver Imagen 23.



Imagen 23. Líneas de control metálicas retardadoras de llama.

4.3.15.12 Las mangueras y los carretes deben inspeccionarse visualmente diariamente durante la operación para detectar fugas o fallas en las válvulas, mangueras, accesorios o medidores.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

PANEL DE CONTROL REMOTO

Los equipos deberán estar equipados con el número suficiente de tableros de control remoto, ubicados estratégicamente donde se pueda llegar con rapidez. Normalmente se tiene el panel de control en un lugar accesible. Ver Imagen 24.

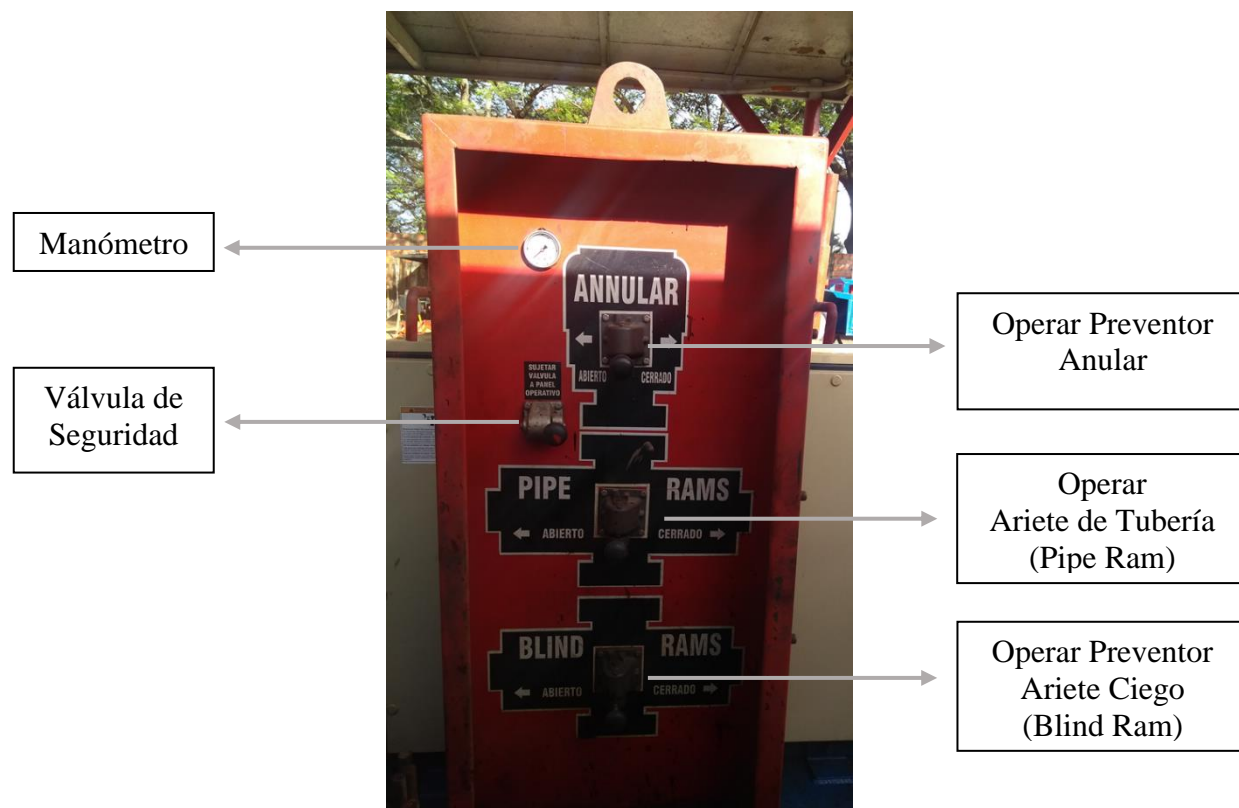


Imagen 24. Panel de control.

TIEMPO DE RESPUESTA

El tiempo de respuesta entre la activación y la operación completa de una función se basa en BOP o cierre de válvula y sellado. Para instalaciones en superficie, el sistema de control de BOP debe ser capaz de cerrar cada BOP de ram dentro de 30 segundos. El tiempo de cierre no debe exceder los **30** segundos para BOP anulares menores de **18 3/4** pulgadas. agujero nominal y **45** segundos para preventivos anulares de **18 3/4** pulgadas y más grande. El tiempo de respuesta para las válvulas de estrangulamiento y cierre (ya sea abierto o cerrado) no debe exceder el tiempo mínimo de respuesta de cierre del ariete observado. La medición del tiempo de respuesta de cierre comienza cuando la función de cierre se activa en cualquier panel de control y finaliza cuando el BOP o la válvula se cierra y afecta un sello. Un BOP puede considerarse cerrado cuando la presión operativa regulada se ha recuperado a su configuración nominal.

Nota: Si se requiere la confirmación del cierre, es necesario realizar pruebas de presión debajo del BOP o a través de la válvula.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

La conformidad con las especificaciones del tiempo de respuesta se demostrará mediante los cálculos del fabricante, mediante pruebas físicas simuladas o mediante la interfaz con la pila BOP real. (API Spec 16D, July 2004, pág. 20)

En la Tabla 4 se presenta un resumen:

Tabla 4. Tiempo de respuesta cierre de preventoras.

Dimensión	Tiempo de respuesta [Segundos]	
	Ram	Anular
Menor que 18 ¾ "	30	30
18 ¾ " ó mayor.	30	45

SISTEMA DE ALARMA



Alarma de baja presión: Cuando la presión hidráulica cae por debajo de la presión seteada, se activa un switch el cual acciona una luz y un pito, dando la alarma.

Alarma de bajo nivel de aceite: Cuando el flotador del tanque cae por debajo del mínimo nivel de fluido, acciona un switch que activa una luz y un pito, dando la alarma.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

-PRESOSTATOS



Imagen 25. Interruptor de presión hidroneumático.



Imagen 26. Interruptor de presión hidroeléctrico.

SISTEMA NEUMÁTICO



Imagen 27. Tanque de aire de 200 galones de capacidad. $P_{max @ T=400^{\circ}F}=200$ psi.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER



Imagen 28. Bomba neumática



Imagen 29. Filtro de aire, regulador y lubricador.



Imagen 30. Compresor de aire tipo tornillo rotativo. Flujo volumétrico de 85 cfm⁸.

⁸ CFM, sus siglas en inglés son Cubic Feet Minute.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

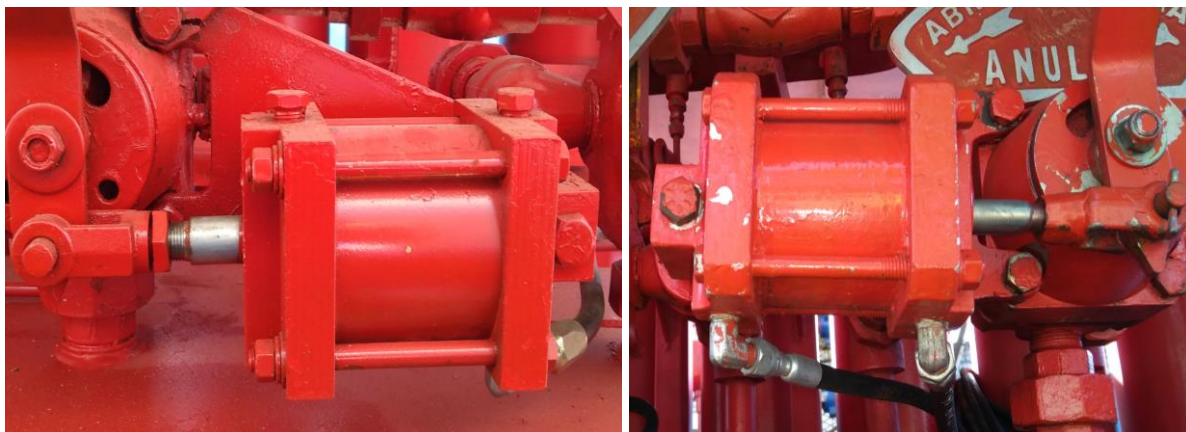


Imagen 31. Actuador neumático de doble efecto.

SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Según API 16D:

- **4.3.4.3** Suministros de energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica a los paneles electroneumáticos o electrohidráulicos debe cambiar automáticamente a una fuente alternativa de suministro eléctrico cuando se interrumpe la energía primaria. La fuente alternativa de suministro de energía eléctrica debe ser capaz de mantener el funcionamiento de las funciones remotas durante un mínimo de dos horas si se pierde la fuente primaria.



Imagen 32. Generador eléctrico.



Imagen 33. Tablero de transferencia manual y distribución a 440V de 260 KVA.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER



Imagen 34. Plug de toma de voltaje 220 V.

- **9.3.3** Todos los componentes eléctricos deben ser capaces de operar dentro de las especificaciones en un rango de voltaje de $\pm 10\%$ del voltaje nominal
- **9.3.12** Todos los gabinetes que contengan más de una fuente de energía deben incluir una etiqueta montada en la puerta o cubierta que indique el número de fuentes de energía y voltajes presentes. Todos los gabinetes que pueden contener voltajes superiores a 50 V deben incluir una etiqueta montada en la puerta o cubierta que indique el voltaje máximo que puede estar presente.



Imagen 35. Switch de encendido manual o automático.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

MANTENIMIENTO E INSPECCION

PLAN DE MANTENIMIENTO

Es necesario tener en cuenta toda una serie de factores, como el coste de una parada de producción, su influencia en la seguridad, el coste de una reparación, etc., que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo. Planteado de esta forma, el trabajo previo a realizar antes de elaborar el Plan de Mantenimiento es muy grande. Muy grande y muy importante. Se debe estudiar cada uno de los elementos que constituyen el equipo con cierto nivel de detalle, determinando qué tareas son rentables y cuáles no lo son.

A la vez que realizamos este análisis, obtendremos una serie de información adicional:

- Datos fundamentales para la elaboración del presupuesto anual de mantenimiento (repuestos y consumibles, importe de los subcontratos, trabajos durante las paradas programadas, estimación de la carga de mano de obra en horas/hombre).
- Repuesto que necesitamos en stock en la planta.
- Ayuda para la elaboración del Plan de Formación.

Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa. Pero, ¿cómo diferenciamos los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta. Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

A) Equipos críticos. Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.

B) Equipos importantes. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.

Debemos considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

— Producción. Cuando valoramos la influencia que un equipo tiene en producción, nos preguntamos cómo afecta a ésta un posible fallo. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos, clasificaremos el equipo como A, B o C.

— Calidad. El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

— Mantenimiento. El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento; o, por último, un equipo con muy bajo coste, que normalmente no dé problemas.

— Seguridad y medio ambiente: Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

El Plan de Mantenimiento es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. Es un documento vivo, pues sufre de continuas modificaciones, fruto del análisis de las incidencias que se van produciendo y del análisis de los diversos indicadores de gestión.

Hay que recordar que un buen Plan de Mantenimiento por sí solo no reduce a cero las averías. Un buen mantenimiento comienza en el momento del diseño del equipo y, desde luego, en la decisión de compra. Un equipo o una instalación mal diseñada, por muy bien atendida que esté, siempre tendrá más posibilidad de sufrir fallos que una instalación con un diseño robusto. En segundo lugar, un buen mantenimiento continúa con un buen uso del equipo. El cumplimiento de las especificaciones (las condiciones medioambientales, la calidad de los suministros de electricidad, etc.) y un uso cuidadoso por parte del personal encargado de utilizarlos reducen enormemente el número de incidencias. El Plan de Mantenimiento no es más que el tercer eslabón en la cadena que conduce a una alta disponibilidad al mínimo coste.

A continuación se presenta un flujograma que presenta la situación actual en la empresa como se podría seguir la ruta y se es posible implementarlo. Ver Ilustración 3.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

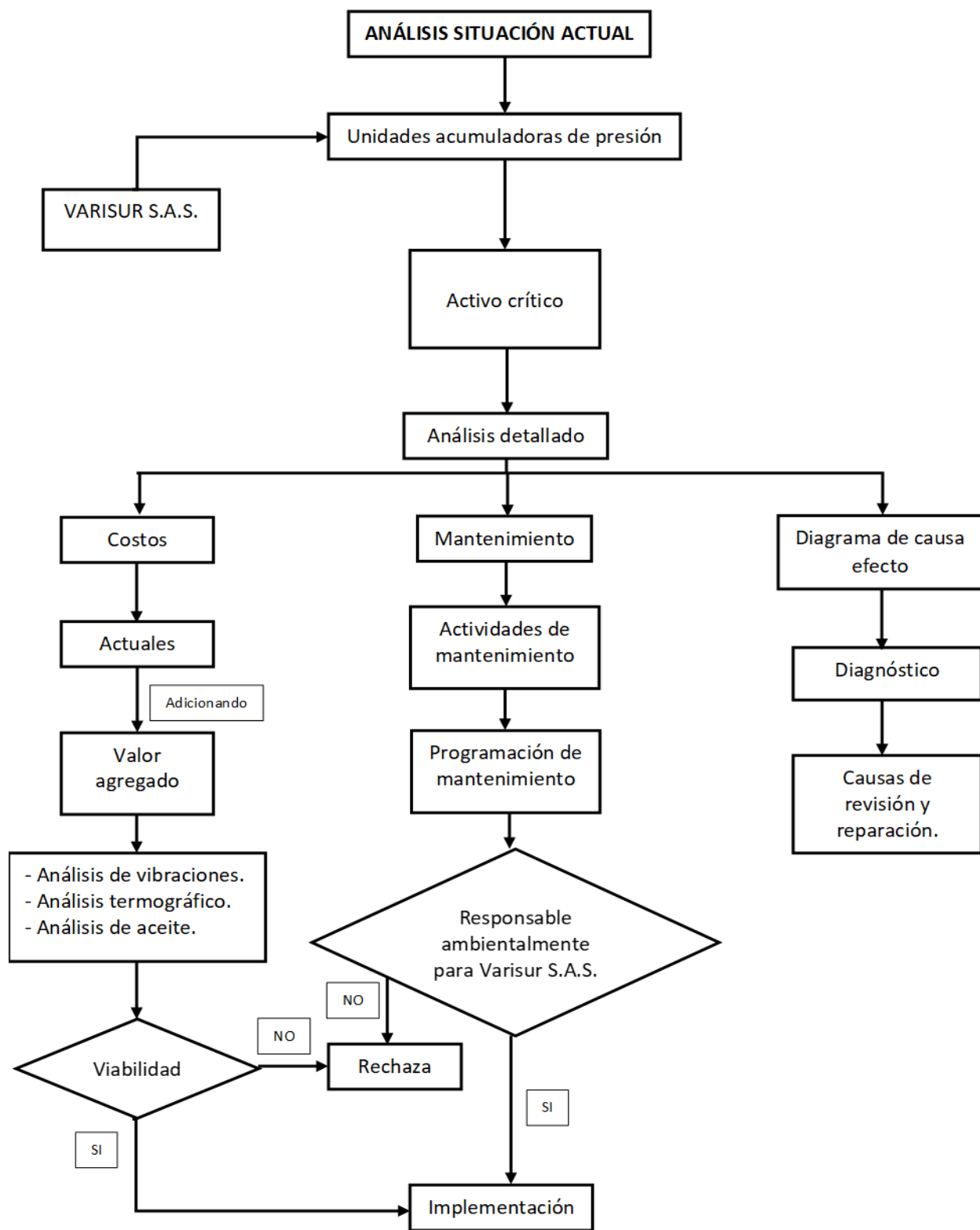


Ilustración 3. Flujoograma.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

La programación de las actividades de mantenimiento pretende optimizar la asignación de recursos tanto humanos como materiales, así como minimizar el impacto en la producción.

Actividades de mantenimiento

Son acciones de mantenimiento que tienen como objetivo implantarse para corregir las causas problema para los diferentes sistemas de la unidad acumuladora tratando de reducir al mínimo la probabilidad que exista un paro imprevisto por fallos, también permiten detallar la actividad que se tendrá para solucionar los problemas analizados, utilizando materiales, repuestos, personal para las distintas áreas, frecuencia de aplicación y tiempo de ejecución.

Las decisiones para la actividad de mantenimiento serán basadas en las recomendaciones de los fabricantes de la maquina y de normas sujetas a la corrección de cada uno de los problemas.

A continuación se presentan las actividades de mantenimiento que se realizan actualmente al acumulador de presiones de Varisur S.A.S.

Nota: La información mostrada a continuación fue suministrada a través de la base de datos del departamento de mantenimiento y se titula **“Programa de mantenimiento preventivo y correctivo”** vigente a partir del 01 de septiembre de 2019.

- Actividades diarias del mecánico

- Revise nivel y estado del aceite del tanque.
- Revise presión hidráulica del sistema, 3000 y 1500 Psi.
- Cerciórese que las válvulas de operar el acumulador ram lock se encuentran en posición de trabajo.
- Revise que la válvula ram lock que opera los ciegos de la preventora se encuentra asegurada.
- Cerciórese que la válvula de alivio funcione correctamente.
- Cerciórese que no haya fugas de hidráulico en el manifold.
- Cerciórese que no haya fugas de nitrógeno en el sistema.
- Verifique correcto funcionamiento de la bomba triplex.
- Cerciórese correcto funcionamiento del presostato de la bomba.
- Verifique que la bomba hidráulica encienda y apague automáticamente.
- Revise exteriormente caja del contactor y cableado.
- Cerciórese que el equipo esta aterrizado eléctricamente.
- Verificar estado general de los componentes en busca de golpes, roturas, pernos sueltos, mangueras desconectadas, fugas de hidráulico, fugas de aire, etc.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

- Lista de chequeo para inspección del equipo

Lubricación:

- Verifique nivel de aceite hidráulico del tanque.
- Verifique nivel de aceite de la bomba triplex y/o hidráulica tengan aceite. Drénelos.
- Retire, lave y sopletee con aire los strainer de la línea de succión bomba.
- Engrase con dos bombazos de grasa EP2 las válvulas de cuatro vías y reguladores.

Sistema Mecánico:

- Verifique que el acumulador tenga la presión de trabajo adecuada. 3000 Psi en el sistema. 1500Psi para disparo o trabajo.
- Verifique funcionamiento de los manómetros de sistema y trabajo.
- Constate que la relief valve este rateada a 3300 Psi.
- Verifique que el regulador de presión este graduado a 3300 Psi.
- Verifique de la bomba triplex válvulas y asientos.
- Efectúe prueba de eficiencia del acumulador. Esto es teniendo el acumulador cargado, se efectúa apertura y cierre de los rams a los módulos de 2 7/8, 3 1/2 y ciegos, quede presión en el sistema para un nuevo procedimiento como el anterior, mientras está cargando nuevamente.
- Asegúrese que no haya fugas de aceite en el manifold.
- Verifique que no haya fugas de nitrógeno, si las hay corríjalas
- Verifique funcionamiento bomba triplex, encienda y apague automáticamente, corrija fugas si las hay.
- Verifique nivel de aceite, agregue si es necesario.

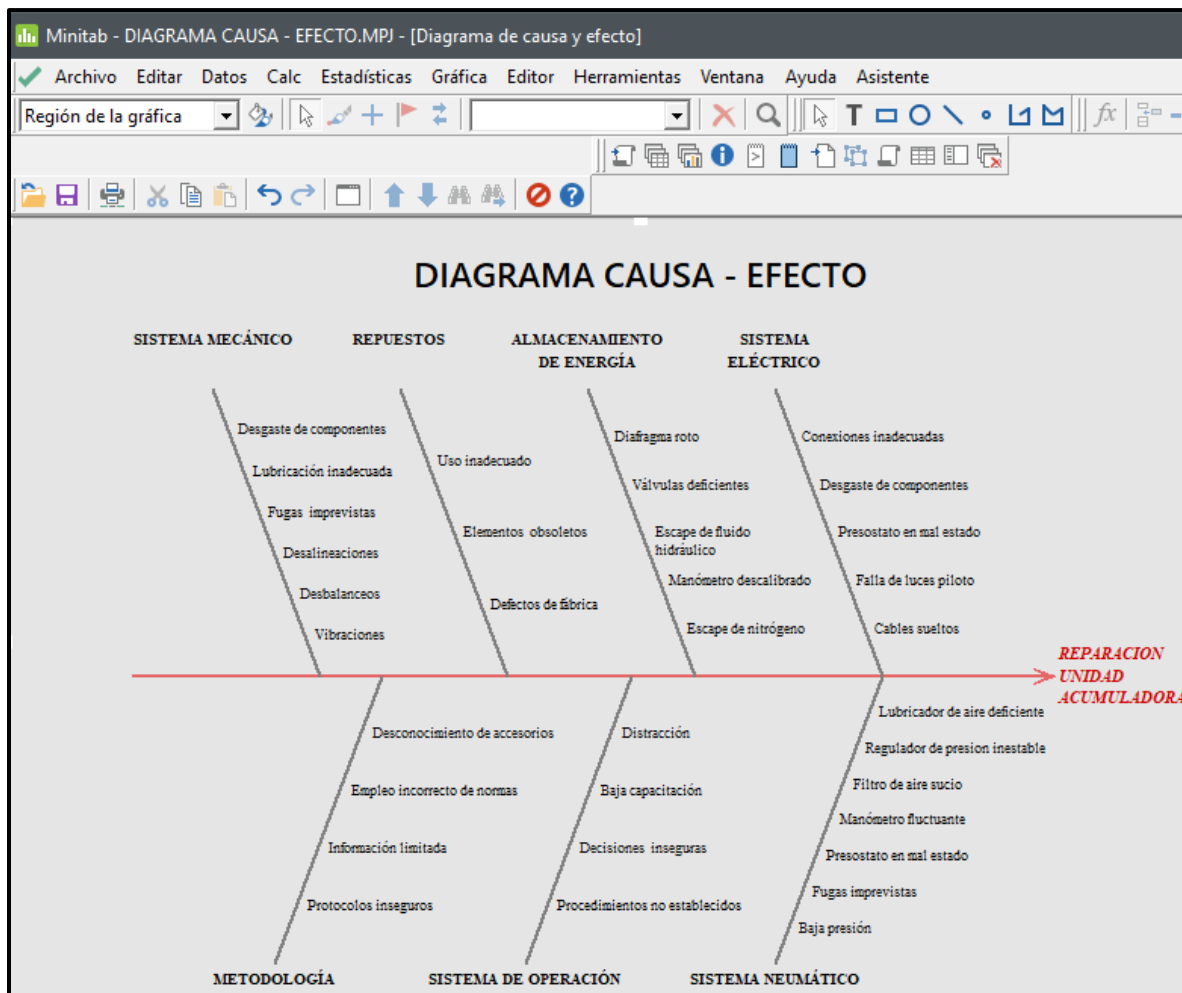
DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

Se trata de una herramienta para el análisis de los problemas que básicamente representa la relación entre un efecto (problema) y todas las posibles causas que lo ocasionan.

El Diagrama causa-efecto es una herramienta utilizada para analizar y evidenciar las relaciones entre un efecto determinado (por ejemplo, las variaciones en una característica de la calidad) y sus causas potenciales.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

A continuación se presenta la ilustración realizada a través de la herramienta Minitab 18 para el acumulador de presiones:



Fuente: Minitab 18

AMEF

Es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.

En la se presenta una ilustración del método AMEF con su respectivo protocolo de mitigación por parte del personal encargado.

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE WORKOVER

Sistema	Seguridad y control de pozo	Función	Tiene dos funciones principales dentro del sistema de control y seguridad de pozos, almacenar fluido hidráulico a alta presión y activar todas las funciones del arreglo de preventoras garantizando la seguridad del pozo.	
Unidad	Acumulador de presión			
Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Acción a tomar	Responsable
Las botellas del acumulador no cuentan con la presión requerida de operación.	Se presenta perdida del aceite hidráulico (fuga) por la línea de carga de las botellas.	Las botellas del acumulador no tendrían la presión requerida de operación (3.000 PSI) para accionar las válvulas preventoras	Mitigar la fuga inmediatamente	Mecánico
	Se presenta obstrucción en la línea de carga de las botellas		Realizar desmontaje de la línea de carga (tubería) para realizar limpieza	Mecánico
Los manómetros del acumulador muestran valores de medición erróneos.	Aguja fluctuante	Perdida exactitud en la medición	Calibración de los manómetros utilizados en el sistema	Mecánico
Filtros obstruidos	Presencia de impurezas en el fluido	Incremento en la presión	Corregir inmediatamente	Mecánico
Bladder dañado	Sonido inusual en la botella	Caída lenta de la aguja del manómetro de presión.	Cambio de Bladder	Mecánico
Sistema de alarma y luces piloto no funcionan	No encendido de luces piloto	Pitido de alarma no audible.	Corregir la falla	Electricista
Desalineación	Ruido de los rodamientos del motor eléctrico		Utilice el sonoscopio	Mecánico
Desbalanceo	Componentes excentricos	Vibraciones	Estudiar y corregir la falla	Mecánico
Sobrepresurización	No se activó la válvula de alivio	Incremento de presión superior a la nominal	Calibrar y/o cambiar válvula de alivio	Mecánico

Tabla 5. Distribución por método AMEF.

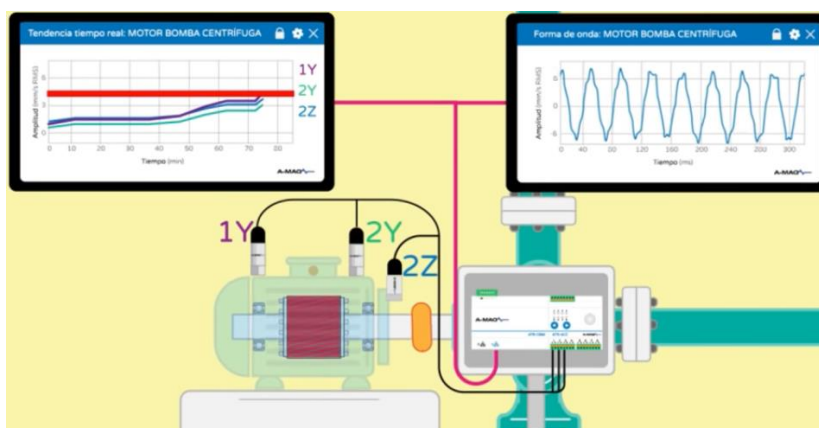
Piezas de repuesto en stock:

Desde el punto de vista técnico, cuantas más piezas de repuesto se dispongan en stock más se asegurará la disponibilidad de los equipos y, desde el punto de vista económico, cuantas menos piezas haya almacenadas, menor capital inmovilizado existirá. Así, resulta evidente la importancia del inventario de repuestos, ya que supone un alto costo de almacenamiento cuando se tiene, y cuando no se tiene puede acarrear costes de indisponibilidad tremendamente altos.

TECNICAS PREDICTIVAS

Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es una herramienta utilizada para identificar, predecir y prevenir fallas en las máquinas rotativas. La implementación de esta tecnología mejorará la fiabilidad de las máquinas, consiguiendo una mejor eficiencia y una reducción del tiempo de inactividad, eliminando las fallas.



El uso del análisis de vibración puede determinar problemas causados debido a una instalación incorrecta, errores de maquinado, lubricación insuficiente, alineación incorrecta de ejes o poleas, tornillos sueltos, ejes doblados. En la mayoría de los casos, puede detectar estos problemas mucho antes de que el daño pueda ser visto por el mecánico, y mucho antes de que dañe otros componentes de la máquina.

Los defectos que se pueden controlar por vibraciones son:

- Desbalance.
- Desalineación.
- Pata coja.
- Daños eléctricos en motores y generadores.
- Holgura eje - agujero
- Daños en rodamientos.
- Problemas de lubricación.

- Cavitación.

Análisis por ultrasonido

El ultrasonido sirve para localizar con exactitud aquellos puntos en donde existen problemas incipientes permitiendo la programación adecuada del mantenimiento de los equipos sin entorpecer el desarrollo normal de la empresa. Todos los problemas mecánicos, eléctricos, así como las fugas de presión o vacío generan ondas ultrasónicas las cuales se detectan mediante medidores de ultrasonido con el fin de ubicar el problema y tomar las acciones correctivas pertinentes para su solución. Esta herramienta está fundamentada en el hecho de que las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío en las plantas, generan ondas sonoras de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía lo cual permite localizar con exactitud los problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas que interrumpan el desarrollo normal de la planta de producción. Para detectar el ultrasonido, se utiliza un instrumento llamado detector de ultrasonidos el cual está diseñado para capturar ondas ultrasónicas y convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango de audición humana. Este dispositivo cuenta con la tecnología necesaria para que una vez convertidas las ondas de ultrasonido puedan escucharse a través de audífonos o visualizarse en un display por medio de un aumento de su intensidad como puede apreciarse en la figura. (OLARTE, 2011).



Ilustración 4. Detector de ultrasonido con audífonos.



Ilustración 5. Detector de ultrasonido con display.

Aplicaciones de la Detección de Ultrasonido:

Entre las aplicaciones más importantes que tiene la detección de ultrasonido se tienen:

- **Monitoreo de Rodamientos:** Cualquier tipo de rodamiento, nuevo o usado, bueno o malo, emite ondas de ultrasonido producidas por la fricción entre sus partes, por medio del ultrasonido se puede determinar su estado y determinar si existe algún problema.
- **Detección de Fugas de Presión o Vacío:** Los medidores de ultrasonido detectan fácilmente el sonido proveniente de la turbulencia ocasionada por un escape de presión o vacío en los sistemas.

- **Inspección de Instalaciones Eléctricas:** Las descargas eléctricas y el efecto corona producen ondas ultrasónicas que pueden descubrirse a través del análisis por ultrasonido.

Análisis termográfico

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

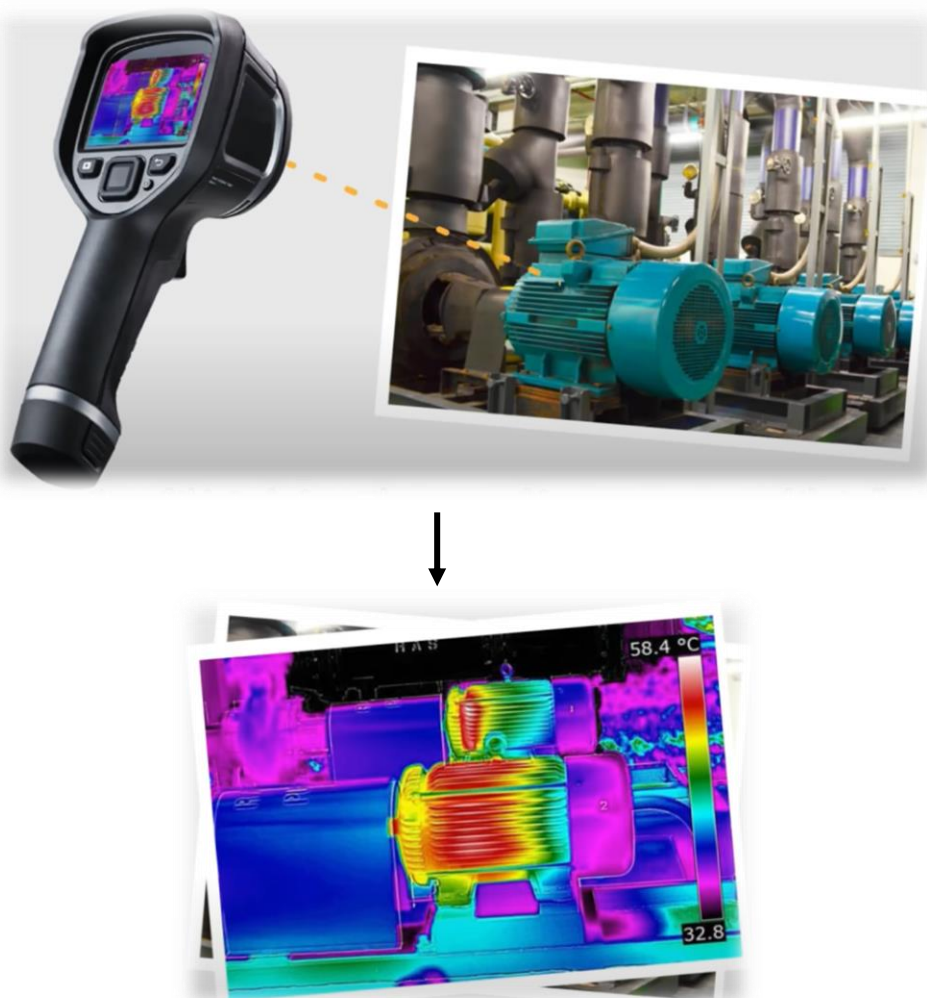




Ilustración 6. Ejemplo elemento analizados termográficamente.

A continuación se presenta una tabla de prioridades de reparación considerando la criticidad de los componentes y/o equipos involucrados.

Severidad	Indicación
P1	Caso Crítico / Intervención inmediata
P2	Caso Semi-Crítico / Intervención en una semana
P3	Caso Importante / Intervención en una quincena
P4	Caso Leve / Intervención en un mes
P5	Caso Semi-Leve / Intervención en dos meses
P6	Caso Muy Leve / Intervención programada en próxima parada del equipo
OB	Observación

Fuente: Graen ingeniería.

Análisis de aceite

El análisis de aceite es una de las herramientas más importantes en el mantenimiento ya que permite realizar evaluaciones de laboratorio rápidas y precisas sobre el lubricante utilizado en los equipos. Con el análisis de aceite, es posible detectar tanto los desgastes de las piezas móviles de los equipos como la presencia de sustancias contaminantes. Con un diagnóstico preciso a partir del análisis de aceite permite que el equipo responsable del mantenimiento de las máquinas y equipos de la empresa pueda identificar más rápidamente e incluso anticipar posibles errores, evitando comprometer el desempeño del servicio o calidad del producto. La vida útil de los

componentes es ampliada, reduciendo así gastos con materiales de reposición, cambios de aceite innecesarios y mano de obra en mantenimientos no programados.

Dentro de los tipos de análisis de aceites se puede encontrar:

- **Ferrografía:** Analiza las partículas encontradas en los lubricantes para identificar el grado y el motivo del desgaste de máquinas y equipos.
- **Análisis físico-químico:** Evalúa las condiciones del lubricante puntualmente o en análisis periódicos.
- **Análisis de contaminaciones:** Identifica la presencia de sustancias que pueden contaminar el sistema. El aceite se puede contaminar debido al desgaste del equipo o a las reacciones químicas del lubricante.
- **Espectrometría:** Con este método es posible identificar los elementos químicos presentes en el lubricante, ya que el aceite pasa por un proceso de combustión y es desintegrado hasta el nivel atómico. Este análisis se indica para obtener información más precisa sobre los desgastes, las contaminaciones e identificar los aditivos.



PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Con el fin de que estos tres métodos predictivos puedan ser implementados como una herramienta de inspección fácil de utilizar y que se encuentre al alcance del personal encargado; lo ideal sería realizar sus respectivas capacitaciones que le permitan al personal conocer en que consisten estos tres tipos de técnicas predictivas.

Este plan de implementación se divide en 2 etapas; la etapa de capacitación y la etapa de desarrollo, es decir la aplicación de una guía completa y detallada del uso de los equipos.

Capacitación del personal

Esta capacitación busca principalmente exponer el contenido del proyecto a los operarios, tener de primera mano toda la información organizada y estructurada, dándole el uso adecuado y encontrando nuevas aplicaciones y campos de acción al método, que le permitan dar solución a los diferentes fallos e inconsistencias que se presenten en los equipos de Varisur S.A.S.

Debido a que la capacitación no requiere de personal profesional en el tema se podrá realizar en cualquier momento y con el número de personas que el departamento de mantenimiento y los coordinadores HSE estimen conveniente, como lo hace con la capacitación de cualquier otro tema de interés, es de vital importancia que los participantes de la capacitación puedan tener contacto directo con el equipo, esto les permitirá entender de forma más práctica su funcionamiento y aplicabilidad. Una vez el operario identifica que es viable utilizar alguno o los tres métodos como herramienta de inspección, deberá hacer la solicitud del instrumento de medición.

Beneficios de la capacitación: Participar de esta capacitación ayudara al empleado a adquirir conocimientos que le permitan desarrollar sus actividades de una manera más eficaz, en donde se pueden resaltar aspectos muy importantes tales como:

- El operario podrá inspeccionar el equipo o sistema sin necesidad de tener contacto directo con este, gracias a esto se disminuye el riesgo que corre tanto el empleado como la maquina.
- Capacitar al personal ayuda a su crecimiento personal y profesional, por lo tanto, se espera que este crecimiento se vea reflejado en la calidad de las tareas realizadas.

Costo de los instrumentos de medición:



Marca: ZKTeco

Modelo: ZK-178H

Precio: \$3.468.521

Precisión: 0.5°C

Resolución: 160x120

Ilustración 7. Cámara Termografica.



Ilustración 8. Cámara Termográfica Fluke.

Marca: Fluke
Modelo: Pti120
Precio: \$5.872.990
Precisión: $\pm 2\%$
Resolución: 120 x 90 (10.800 píxeles)



Ilustración 9. Medidor de vibraciones Fluke 805FC.

Marca: Fluke
Modelo: Fluke-805 FC
Precio: USD \$ 1579.99
Precisión: 100 Hz $\pm 5\%$ del valor medido
Rango de baja frecuencia: 10 a 1000 Hz
Rango de alta frecuencia: 4000 a 20.000 Hz
Peso: 3.1 Libras

Es importante aclarar que hay que agregar tanto los costos de envío como costos indirectos que se puedan presentar en la implementación de las técnicas.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del acumulador puede ser chequeado por medio de un grupo de indicadores que permite detectar anomalías o fallas. Una interpretación correcta de tales indicadores permite detectar rápidamente las causas del mal funcionamiento y permite localizar sin demora la falla. Los indicadores más importantes que hay que tener en cuenta son los siguientes:

- Luces de advertencia para la presión en las líneas de apertura/cierre.
- Manómetros de presión del acumulador (manifold, BOP anular, acumulador).

- Manómetros de presión del aire.

Cuando el acumulador está **TRABAJANDO CORRECTAMENTE** se deben presentar las siguientes situaciones:

- NO APERTURA/CIERRE:

Los manómetros de presión permanecen estables en sus respectivos valores. Desde el inicio «Operación de arranque» (comienzo), Realizando las operaciones y Final de las Operaciones:

- OPERACION DE APERTURA/CIERRE:

Operación de arranque:

Durante la operación de Arranque existe una variación de la presión del aire, la disminución de presión (BOP anular o manifold) y la luz de advertencia de la presión de la línea está encendida.

Realizando la operación:

Durante la operación, la presión del acumulador disminuye.

Final de la operación:

Después de las Operaciones, en el final de la operación el valor de la presión inicial se reintegra (BOP anular o manifold) y si la presión ha disminuido por debajo del valor de presión mínima de recarga del acumulador.

Un comportamiento desigual de los indicadores mencionados implica la presencia de fallas o mal funcionamiento, siendo los más comunes:

- Falla en la válvula reguladora de presión del BOP anular
- Falla en la válvula reguladora de presión del manifold.
- Medida de presión en los manómetros fluctúa.
- No se ha calibrado el interruptor de presión.
- Obstrucción en la línea de apertura/cierre.
- La bombilla de advertencia no funciona.
- Interrupción en el circuito neumático.
- Las bombas no están funcionando.
- Fugas en la línea hidráulica.

A continuación se presenta el resultado de una prueba realizada en campo base Neiva para verificar el funcionamiento del equipo. En la Tabla 6 aparecen los resultados de la prueba número uno observando que en el proceso de descarga del acumulador la aguja presentaba una caída muy lenta razón por la cual se tomó la decisión de probar una y cada una de las botellas aislando las 7 restantes con el fin de descartar botellas deficientes; en este proceso se evidenció que una de las ocho botellas presentó fallas evidenciando tener un bladder roto.

Tabla 6. Prueba inicial acumulador.

ACUM 004 – 204 Galones		Fecha: 27/06/2020	
Nivel de fluido inicial [in] =28		Nivel de fluido final [in]= 18	
Presión [psi]		Tiempo [min: seg]	
Precarga:	0-900	0: 20	
Carga:	0-3100	9: 00	
Reinicio automático: 2800-3100		0: 20	
Ejecutado por: Ing. Ilber Johane Chávez G.			

A continuación se presenta el registro fotográfico en el proceso de cambio de bladder de botella No.8:





Una vez realizado el procedimiento anterior se revisó y registró el valor de precarga de las botellas:

Botella No.	Carga inicial [psi]		Botella No.	Carga final [psi]
1	900	→	1	1000
2	1000		2	1000
3	1000		3	1000
4	1050		4	1050
5	900		5	1000
6	1000		6	1000
7	900		7	1050
8	Carga irregular		8	1050

Posteriormente se realizó una nueva prueba obteniendo:

Tabla 7. Prueba de final acumulador.

ACUM 004 – 204 Galones		Fecha: 27/06/2020	
Nivel de fluido inicial [in] =31		Nivel de fluido final [in]= 20	
Presión [psi]		Tiempo [min: seg]	
Precarga:	0-950	0: 2	
Carga:	0-3100	11: 13	
Reinicio automático: 2800-3100		0: 18	
Ejecutado por: Ing. Ilber Johane Chávez G.			

Diagnóstico: Todas las válvulas quedaron en buenas condiciones de operación, la botella No. 8 presentaba irregularidades en su funcionamiento por lo que se decide cambio por un bladder nuevo. La botella No. 5 presentaba fuga de nitrógeno por lo que se decide cambiar el gusanillo para mitigar esta condición.

✓ **Depósito de almacenamiento**

- El depósito debe limpiarse y enjuagarse cerciorándose que no haya escoria de soldadura, recortes de máquinas, arena y cualquier otro contaminante antes de introducir el fluido.
- Abrir el depósito del líquido y examinar el estado del fluido de control. Preste atención a la oxidación por encima del nivel del fluido.

- Revisar a través del tapón que se encuentra en las caras laterales del depósito que no exista fugas de fluido.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de todos los Elementos de Protección Personal (EPP).
- Destreza y rigurosidad al momento de precargar las botellas.
- Si considera el trabajo inseguro. ¡Deténgalo!

REFERENCIAS

- API Spec 16D, S. 1. (July 2004). Specification 16 D for Control Systems for Drilling Well Control Equipment and Control Systems for Diverter. En *API Spec16D*.
- API STANDARD 53. (2018). En A. P. Institute. IHS Markit under license with API .
- API STD 53. (2018). Sistemas de equipos de control de pozos. En *NORMA API STD 53*.
- Carpio, C. O. (2014). *ANÁLISIS DE LA NORMATIVA PARA IMPLEMENTACION MANUAL MANTENIMIENTO ACUMULADOR DE PRESIONES*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- HIBBELER, R. C. (2011). *Mecánica de materiales.Octava edición*. México: Pearson educación.
- OLARTE, W. (2011). LA DETECCIÓN DE ULTRASONIDO:.. *UNA TÉCNICA EMPLEADA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO*.